

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11344620 A**(43) Date of publication of application: **14.12.99**

(51) Int. Cl

**G02B 6/00**  
**G02B 6/10**  
**G02F 1/313**  
**H04B 10/02**  
**H04B 10/18**

(21) Application number: **11094603**(22) Date of filing: **01.04.99**(30) Priority: **01.04.98 US 98 53236**(71) Applicant: **LUCENT TECHNOL INC**

(72) Inventor: **JUDKINS JUSTIN BOYD**  
**VENGSAKAR ASHISH**  
**MADHUKAR**  
**WAGENER JEFFERSON LYNN**

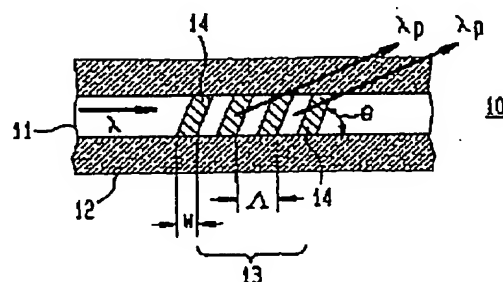
**(54) WIDE BAND LONG PERIOD GRATING****(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a long period grating having a wide band width by adopting a constitution in which the inclination of the functions of the intervals of perturbations changes code in the region of an operation wavelength.

**SOLUTION:** The grating comprises an optical fiber 10 for transmitting light in a guided (restrained) mode. The fiber 10 has a core 11 and a clad 12 having the refractive index lower than the refractive index thereof. The core 11 includes the long period grating 13 consisting of the plural refractive index perturbations 14 of width of  $W$  arranged apart periodic distances (intervals). The wide band long period grating varies in the relation between a wavelength  $\lambda_0$  and a grating period  $\Lambda$  from the conventional long period gratings. Namely, the grating consists of the plural refractive index perturbations parted by the distance larger than  $10\lambda$ . The device exhibits the peak coupling wavelength  $\lambda_p$  changing as the function of the interval  $\Lambda$  of its perturbations and the  $d\Lambda/d\lambda_p$  of the function thereof changes the code in the region of the operation wavelength  $\lambda$  as an improvement point. The

wide band long period grating is so designed as to exhibit an inflection point where  $d\Lambda/d\lambda_0$  is attained at a concern wavelength.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-344620

(43) 公開日 平成11年(1999)12月14日

(51) Int. Cl. °	識別記号	F I		
G 0 2 B	6/00	G 0 2 B	6/00	C
	6/10		6/10	C
G 0 2 F	1/313	G 0 2 F	1/313	
H 0 4 B	10/02	H 0 4 B	9/00	M
	10/18			
審査請求 未請求 請求項の数 13		O L	(全 8 頁)	

(21) 出願番号 特願平11-94603

(22) 出願日 平成11年(1999)4月1日

(31) 優先権主張番号 09/053236

(32) 優先日 1998年4月1日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 596092698

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レーテッドアメリカ合衆国, 07974-0636 ニュージ  
ヤージー, マレイ ヒル, マウンテン ア  
ヴェニュー 600(72) 発明者 ジャスティン ボイド ジュドキンス  
アメリカ合衆国 07922 ニュージャーク  
イ, ニューブランズウィック, ジョージ  
ストリート 164

(74) 代理人 弁理士 岡部 正夫 (外11名)

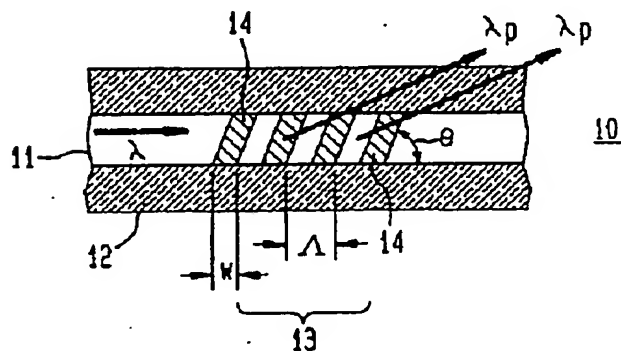
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域長周期格子

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、広スペクトル（広帯域）幅特性を持つ長周期格子に関する。

【解決手段】 本発明は、出願人の関心のある波長近傍において傾きの符号が変わる中心波長 $\lambda$ 対周期 $\Lambda$ の特性を持つ長周期格子を設計することができるという発見に基づく。この格子をチャープすることで、従来のチャープド格子より広い帯域幅、例えば、従来の20nmに対して100nmの帯域幅を達成することができる。本発明によるこの新規の広帯域格子は光通信システムにおいて、分散を補償するため、あるいはスペクトルに依存する光増幅器を補償するために用いるのに極めて有益である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 動作波長 $\lambda$ で光を2つの共伝搬モード間で結合するための長周期格子デバイスであって、これが、ある長さの光導波路と、この導波路内の格子から構成され、この格子が $10\lambda$ より大きな距離だけ離れた複数の屈折率摂動から成り、このデバイスが、前記摂動の間隔 $\Lambda$ の関数として変化するピーク結合波長 $\lambda_c$ を示し、改良点として：前記関数の傾き $d\Lambda/d\lambda_c$ が前記動作波長 $\lambda$ の領域において符号を変えることを特徴とする格子デバイス。

【請求項2】 前記光導波路が光ファイバから成ることを特徴とする請求項1の改良された格子デバイス。

【請求項3】 前記2つのモードが $LP_{01}$ モードと $LP_{02}$ モードであることを特徴とする請求項2の改良された格子デバイス。

【請求項4】 前記デバイスの90%の光電力がそれに渡ってあるモードから別のモードに結合される帯域幅が $10\text{nm}$ より大きなことを特徴とする請求項1の改良された格子デバイス。

【請求項5】 前記格子がチャージングされることを特徴とする請求項1の改良された格子デバイス。

【請求項6】 動作波長 $\lambda$ で光を2つの共伝搬モード間で結合するための長周期格子デバイスであって、これが、ある長さの光導波路と、この導波路内の格子から構成され、この格子が $10\lambda$ より大きな距離だけ離れた複数の屈折率摂動から成り、前記2つの同時に伝搬するモードが前記動作周波数 $\lambda$ において、それぞれ、有効グループ屈折率 $n_1$ と $n_2$ を持ち、改良点として、これら2つのグループ屈折率の間の差 $\Delta n_g$ が0.0025より小さなことを特徴とする格子デバイス。

【請求項7】 前記光導波路が光ファイバから成ることを特徴とする請求項6の改良された格子デバイス。

【請求項8】 前記2つのモードが $LP_{01}$ モードと $LP_{02}$ モードであることを特徴とする請求項7の改良された格子デバイス。

【請求項9】 前記デバイスの90%の光電力がそれに渡ってあるモードから別のモードに結合される帯域幅が $10\text{nm}$ より大きなことを特徴とする請求項6の改良された格子デバイス。

【請求項10】 前記格子がチャージングされることを特徴とする請求項6の改良された格子デバイス。

【請求項11】 光信号送信機、光受信機、およびこれらの間の光ファイバから成る光路を含む光通信システムであって、前記光路が光分散を受け、改良点として：前記光路が請求項1～6のいずれかに記載の広帯域長周期格子から成る分散補償モジュールを含むことを特徴とするシステム。

【請求項12】 前記分散補償モジュールが、第一の広帯域長周期格子、前記第一の格子の下流に結合されたある長さの分散補償ファイバ、および前記分散補償ファイ

バの下流に結合された第二の広帯域長周期格子を含むことを特徴とする請求項11の改良されたシステム。

【請求項13】 光信号送信機、光受信機、およびこれらの間の光ファイバから成る光路と光増幅器を含む光通信システムであって、前記光増幅器が波長に依存する利得を持ち、改良点として：前記光路が、前記増幅器のスペクトル（波長）依存性を低減するための請求項1又は6に記載の広帯域長周期格子から成る少なくとも一つのフィルタを含むことを特徴とするシステム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は長周期格子、より詳細には、広スペクトル（広帯域）幅特性を持つ長周期格子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】長周期格子は、典型的には、ある長さのファイバから成り、この内部には複数の屈折率摂動がファイバに沿って周期距離（間隔） $\Lambda$ だけ離して設けられる。長周期格子は、従来のブラッグ（Bragg）格子とは対照的に、典型的には、伝送される波長 $\lambda$ より少なくとも10倍大きな周期間隔 $\Lambda$ を利用する。つまり、 $\Lambda > 10\lambda$ とされる。長周期格子の重要な特性は、これがファイバのある光モードからの光を、同一方向に伝搬している別のモードに、非常に低い後方反射にて結合できることである。（これは、後方に伝搬するモードに結合し、従って、光を反射する単周期ブラッグ格子とは対象的である）。これらモードの具体的な例としては、ガイドド（拘束）モードからノンガイドド（非拘束）モードへの結合、あるガイドドモードから別のガイドドモードへの結合、ある偏波モードから別の偏波モードへの結合等が含まれる。ノンガイドドモードは、コアに沿ってではなく、ファイバ構造全体によって定義（拘束）される空間モードである。通常、ノンガイドドモードは、クラッドモードや漏れモード、あるいは、多層クラッドの場合のリングモードである。

【0003】ガイドド（拘束）モードからの光をノンガイドド（クラッド）モードに結合する長周期格子は、波長依存損失要素として有益であり、これら格子は、例えば、広帯域高電力源として（C. W. Hodgson, et al., 9 Optical Society of America Technical Digest Series, Paper TuG3 (1996)）、光増幅器内の利得等化器として（Vengsarkar et al., 21 Optics Letters, 336 (1996)）、エルビウムドープ増幅器内のノイズ除去フィルタとして（Vengsarkar et al., 14, J. Lightwave Technology, 58 (1996)）、あるいはカスケード高電力ラマンレーザ内のノイズ除去フィルタとして（S. G. Grubb and A. J. Stentz, Laser Focus World, p. 127 (February)）用いられている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】各ケースにおいて、デ

バイスの効用は、光電力を効率的に伝達することができる波長の範囲によって決まる。多数の長周期格子に基づくデバイスが設計され、実演されているが、動作帯域幅は、通常、5～10 nmの範囲に制限される。この範囲は、特に有益なエルビウム増幅器の帯域幅は約35 nmであるために厳しい制約である。ファイバ格子の帯域幅を増加させるための一つの方法においては、格子をチャージングすることで、周期 $\Lambda$ が長さに沿って変化される。チャージングにより帯域幅を幾らか増加することはできるが、ただし、通常、この増加の代償としてモード変換の範囲が縮小する。従って、より広い帯域幅を持つ長周期格子が求められている。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、出願人の関心のある波長近傍において傾きの符号が変わる中心波長 $\lambda$ 対周期 $\Lambda$ の特性を持つ長周期格子を設計することができるという発見に基づく。この格子をチャージングすることで、従来のチャージド格子より広い帯域幅、例えば、従来の20 nmに対して100 nmの帯域幅を達成することができる。本発明によるこの新規の広帯域格子は光通信システムにおいて、分散を補償するため、あるいはスペクトルに依存する光増幅器を補償するために用いるのに極めて有益である。

【0006】本発明の長所、性質、および様々な追加の特徴は、図面を参照しつつ以下に詳細に説明する一例としての実施例を考察することでより一層明白になるものである。なお、図面は、もっぱら発明の概念を解説することを目的とし、グラフを除いて縮尺は正確でないことを注意する。

#### 【0007】

【発明の実施の形態】この説明は、3つのパートに分けて行なう。パート1では、本発明の新規の広帯域長周期格子を定量的に説明し、パート2では、この新規の格子の好ましい用途について説明し、パート3では、これら格子の特定の用途に対する設計の定量的な方法について説明する。

#### 【0008】1. 新規の広帯域格子

本発明による新規の広帯域格子は従来の長周期格子と類似するが、ただし、光ファイバの設計と格子周期 $\Lambda$ の選択が関心のあるモードと波長に対して、周期の波長に対する変化の割合が、概ね0、つまり、 $d\Lambda/d\lambda \approx 0$ となるように選択される点が異なる。この節においては、この新規の広帯域格子の一般的な特徴と具体例について説明する。

【0009】図面の説明に移り、図1は、長周期格子の一般的な特徴を示す略断面図である。この格子は、ガイドド（拘束）モードにて光を伝送するためのある長さの光ファイバ10から構成され、このファイバ10は、コア11と、これを包囲するより低い屈折率のクラッド12を持つ。コア11は、周期距離（間隔） $\Lambda$ だけ離し

て配置された幅 $w$ の複数の屈折率振動14から成る長周期格子13を含む。ここで、周期距離（間隔） $\Lambda$ は、典型的には、 $5\mu\text{m} \leq \Lambda \leq 1500\mu\text{m}$ の範囲とされる。また、 $1/5\Lambda \leq w \leq 4/5\Lambda$ 、好ましくは、 $w = 1/2\Lambda$ とされる。これら格子振動は、ファイバのガラスコア内に形成され、好ましくは、ファイバの縦軸に対して角度 $\theta$ をなす。ここで、角度 $\theta$ は、 $2^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ の範囲とされる。このファイバは、広帯域光を伝送するように設計される。

【0010】これら振動の間隔 $\Lambda$ は、選択された波長 $\lambda_0$ の領域内を伝送される光をガイドドモードから第二のモードにシフトし、これによってガイドドモード内の波長 $\lambda_0$ を中心とする帯域の光の強度を低減するように選択される。

【0011】本発明による広帯域格子は、従来の長周期格子と、波長 $\lambda_0$ と格子周期 $\Lambda$ との間の関係が異なる。図2は、波長 $\lambda_0$ と、従来の長周期格子の周期 $\Lambda$ との間の関係を示すプロットである。図2からわかるように、このプロットは、単調な増加を示す。この単調な挙動は、関心のある波長に対して、 $d\Lambda/d\lambda_0$ が常に同一の符号（ここでは正）であることを意味する。この結果として、この格子は、帯域幅の面で制約がある。この制約は、典型的な従来の長周期格子の伝送スペクトルを示す図3との関連で良くわかる。つまり、チャージングを行なった場合でも、帯域幅は、20 nm以上を大きく超えて広げることはいできない。

【0012】これとは対照的に、本発明による新規の広帯域長周期格子は、関心のある波長において、 $d\Lambda/d\lambda_0$ が2つの符号と、 $d\Lambda/d\lambda_0 \approx 0$ となる変曲点（ターニングポイント）を示すように設計される。図4は、典型的な新規の格子に対する波長 $\lambda_0$ と、周期（最良の長さ：うなり周期）の関係を示す。 $d\Lambda/d\lambda_0 \approx 0$ となる波長において、この格子は、従来の長周期格子より広い帯域幅を示す。さらに、この帯域幅はチャージングによりさらに増加することができる。

【0013】図5は、図4の長周期格子の伝送スペクトルを示す。この新規の格子は、チャージングしない場合でも、50 nmのオーダの帯域幅を持つ。

【0014】図6の屈折率プロファイルは、新規の長周期格子ファイバに対する一例としてのファイバの設計を示す。図6からわかるように、このファイバは、4つの同心領域から成る。第一の領域は、コア領域であり、4.3  $\mu\text{m}$ の半径を持つ。クラッドは、複合クラッドであり、厚さ3.15  $\mu\text{m}$ の第二の同心領域と、厚さ5.6  $\mu\text{m}$ の第三の同心領域から成り、第四の領域が外に向って延び、これによって、公称125  $\mu\text{m}$ の外径が得られる。コアは、第二の領域の屈折率と比較して、1.8%だけ高い屈折率を持ち、第三の領域は、第二の領域より0.4%だけ高い屈折率を持ち、第四の領域は、第二の領域と同一の屈折率を持つ。この設計の実現のために

は、コアにはシリカが用いられ、これがゲルマニウムにてドーブされ、第二の領域はドーブしないかあるいは微量のフッ素にてドーブされ、第三の領域はゲルマニウムカリウムにてドーブされる。格子を形成する前に、ファイバには、好ましくは、感光度を向上させるために分子水素をロードされる。

【0015】格子の形成のためには、ファイバのコアが、幅 $w$ の強い光のビームに、距離（間隔） $\Lambda$ だけ離された位置が選択的に露出されるように露光される。露光源としては、好ましくは、KrFエキシマーレーザからのUV放射線を用いる。適正な間隔を得るために、ファイバが幅 $w$ のスリットを通じて露出され、続いて、ファイバが、次の露出位置に移動される。別の方法として、ファイバを、レーザからの広いビームに、間隔 $\Lambda$ と幅 $w$ を持つ複数の透明なスリットを与える振幅マスクを通じて露出することもできる。この場合は、好ましくは、各スリットに対する露出量としては、 $100\text{ mJ}/\text{cm}^2$  流量/パルスより強い1000程度のパルスが照射され、振動の数は、10～1000の範囲とされる。

【0016】図6の設計の長所が図4の実線の校正曲線（ $\lambda_p$ 対 $\Lambda$ ）から良くわかる。つまり、このデバイスは、 $\Lambda = [92.5, 93.5] \mu\text{m}$ 、 $\lambda_p = [1.5, 1.55] \mu\text{m}$ の領域において、 $d\Lambda/d\lambda_p \approx 0$ となる。この変曲点は、2つの結合モードのグループ屈折率が同一となるように、つまり、グループ屈折率の差 $\Delta n_g$ が概ね0となるようにファイバを設計することで実現される。この設計は、格子の3-dB帯域幅に影響を持つが、これは、Vengsarkar et al., 14, J. Lightwave Technology, 58(1996)において説明される式6、つまり、

【数1】

$$\Delta\lambda \approx 0.8 \lambda^2 / (\Delta n_g L),$$

からよく理解できる。つまり、この式は、格子幅がグループ屈折率の差に反比例することを示す。ここで、 $\lambda$ は動作波長を表し、 $L$ は格子の長さを表す。ただし、この式は、グループ屈折率の差 $\Delta n_g$ が0に接近した場合は、あてはまらない。そこで、二次の影響を考慮し、3-dB帯域幅の評価に対する通常の数学的手続きを用いると、この式は、以下のように書き換えられる：

【数2】

$$\Delta\lambda \approx 1.8 \sqrt{\frac{\lambda^3}{C \cdot \Delta D \cdot L}},$$

ここで、 $\Delta D$ は2つのモードの分散の差を表し、 $C$ は真空中の光の速度を表す。グループ屈折率の差 $\Delta n_g$ を0.0025より小さくすると、変曲点を利用して広帯域格子を実現することが可能となる。この領域においては、周期（間隔） $\Lambda$ の小さなチャープによって、中心波

長 $\lambda_p$ に大きな変化を引き起こすことが可能となる。例えば、1.525  $\mu\text{m}$ の中心波長では、1ミクロンのチャープによって、100 nmに渡って効率的なモード結合が可能となる。これは、図2のデバイスとは対照的であり、図2のデバイスでは、20 nmに渡って波長結合を達成するために10ミクロンのチャープが必要となる。

【0017】上述の各設計は、特定の波長においてのみ広帯域変換が可能であり、波長の細かなチューニングは、ファイバを、オーバサイズあるいはアンダーサイズに線引することによって達成される。図4は、このチューニングを点線の曲線AとBにて図解する。ここで、曲線AとBは、それぞれ、1.5%のオーバサイズと、1.5%のアンダーサイズに対する波長シフトを示す。細かなチューニングのためのもう一つの方法においては、uvによってコア内に様な屈折率の変化が導入される。この背景屈折率の上昇により、変曲点は、長い波長の方にシフトされる。

【0018】図6のデバイスの伝送スペクトルを図5に示す。このスペクトル（高次のLP<sub>02</sub>モードを除去した後の）からわかるように、90%の変換に対応する-10 dBポイントにおいて、50 nmの広帯域幅が達成される。これは、従来の方法と比較して、10倍の帯域幅の増加を意味する。異なる波長と異なるモード間の変換に対する広帯域長周期格子の設計については、後にパート3において説明する。

【0019】2. 新規の格子の好ましい用途

基本モードからの光を、より高次の空間モード（例えば、LP<sub>11</sub>あるいはLP<sub>02</sub>モードに結合する長周期格子は、ファイバの遮断波長に近い高次モードを用いて高い負の分散を提供する分散補償モジュール内に用いると効果的である。このような分散補償モジュールを採用する光通信システムを図7に簡略的に示す。シングルモード伝送ファイバ70（これは分散されたパルスを運ぶ）がモード変換格子71にスプライス（結合）され、これによって、この光の大部分（90%以上）がLP<sub>1m</sub>にて表される高次モードに変換される。次に、この格子が分散補償ファイバ（DCF）72にスプライス（結合）され、これによって高い負の分散が提供され、こうして、これらパルスが圧縮される。この分散補償ファイバ（DCF）72は、さらにもう一つのモード結合格子73にスプライスされ、これによって、高次モードからの光が基本モードに再び結合される。最後に、この格子にスプライスされたシングルモードファイバ74によって、こうして圧縮されたパルスが受信機75あるいは光ファイバシステムの次のスパン（区間）に伝送される。高次モードに基づく分散補償の他の用途については、Poole et al., 12 J. Lightwave Technology, 1746(1994)を参照されたい。

【0020】この新規の格子に対する第二の好ましい用途は、光ファイバ増幅器の補償である。図8は、送信機80、受信機83、および、これら送信機と受信機の間



に交互に配置された光増幅器81と、ある長さに渡って延びる光ファイバ82から構成される光通信システムを簡略的に示す。このようなシステムと関連する問題として、増幅器81、特に、希土類ファイバ増幅器が、波長の関数として変化する利得を示すことが知られている。このスペクトル依存性を補償するために、ここに開示される広帯域長周期格子から成るフィルタが、一つあるいは複数の希土類ファイバ増幅器と直列に配置され、これによって、より一様なスペクトル応答が得られる。この広帯域幅フィルタは、増幅器の利得を複数の通信チャネルに対応する広い帯域幅に渡って等化できるという長所を持つ。

【0021】図9は、図8の通信システムに用いるのに適する一つの好ましい光増幅器81を示す。本質的には、この増幅器は、ペアの希土類ドーパされたファイバ91、93と、この間に配置されたフィルタ（デバイス）92から構成される。このフィルタは、ここに開示される広帯域長周期格子から成る。この格子は、増幅器のスペクトル出力を平坦化するように選択された強度と帯域幅を持つ。

### 【0022】3. 設計原理

光があるモードから別のモードに結合するピーク波長 $\lambda_0$ を支配する式は、 $\lambda_0 = (n_1 - n_2) \Lambda$ によって与えられる。ここで、 $n_1$ は第一のモードの有効屈折率を表し、 $n_2$ は第二のモードの有効屈折率を表し、 $\Lambda$ は格子の周期を表す。 $n_1$ と $n_2$ が動作波長 $\lambda$ に依存することに注目すると、このことは以下のように表すことができる：

$$\lambda_0 = (\Delta n) \Lambda \quad (\text{式1})$$

ここで、 $\Delta n = n_1 - n_2$ は、動作波長 $\lambda$ の関数である。

【0023】式1を、 $\lambda$ に関して微分し、 $d\Lambda/d\lambda$ について解くと、以下ようになる：

【数3】

$$\frac{d\lambda_0}{d\Lambda} = \frac{(\Delta n)^2}{(\Delta n_s)}, \quad (\text{式2})$$

ここで、 $\Delta n_s$ は、 $\Delta n_s = \Delta n - \lambda (d\Delta n/d\lambda)$ によって定義されるグループ屈折率の差を表す。

【0024】次に、関心のある波長 $\lambda_0$ とモードを選択した上で、複数の屈折率の層を持つファイバをモデリングするための通常の数値ツールを用いて、 $\Delta n_s$ が $\lambda_0$ において0に接近し、この0点の両側で符号が変わるという制約条件の下でファイバが設計される。これは、T. Lenahan, "Calculation of modes in an optical fiber using the finite element method and EISPACK", Bell System Technical Journal, Vol. 62, p. 2663-2694, et seq. (1983)において説明されるモデリングツールを用いて行なうことができるが、詳しくはこの文献を参照されたい。

【0025】この設計プロセスは以下の具体例を考察することでより良く理解できる。

例

LP<sub>01</sub>、LP<sub>11</sub>、LP<sub>02</sub>モードをガイドする3モードファイバを、LP<sub>01</sub>モードとLP<sub>02</sub>モードとの間の結合を、約1550nmの波長において、15～1500ミクロンの範囲の周期の格子にて誘導できるように設計することを目指す。さらに、波長 $\lambda$ 対周期 $\Lambda$ の曲線上に約1.55 $\mu\text{m}$ の所に変曲点（曲線の傾きが符号を変えるポイント）を実現することを目指す。

【0026】この設計手続きの第一のステップにおいて、18%のゲルマニウムを含み（従って、 $\Delta n = 1.8\%$ ）、直径約9ミクロンのコアを持つ通常のステップインデックスファイバを形成する。これが、3つのモードの伝搬を可能にするための開始点である。これらパラメータの選択は、導波路パラメータの単純な計算に基いて行なわれ、製造は簡単である。次に、Lenahanによって説明されるコンピュータシミュレーション手続きを用いて、考慮下の2つのモードの有効屈折率 $n_{01}$ と $n_{02}$ を計算する。これら2つの量の波長に対する挙動が得られたら、次に、この設計に対してグループ屈折率の差 $\Delta n_s$ を計算する。想定される波長 $\lambda$ と格子周期 $\Lambda$ の範囲内では、 $\Delta n_s$ を0付近にすることができないことがわかったら、この設計（シミュレーションプログラム）に一回目の反復ステップを組み込む。この反復ステップは、プロファイルの変化がLP<sub>02</sub>モードのグループ屈折率に、定量的にどの程度影響を与えるかの洞察と理解に基づく。例えば、このプロファイルにリングを加えると、LP<sub>02</sub>のグループ屈折率に、LP<sub>01</sub>のグループ屈折率より大きな影響が現われることが知られている。こうして、例えば、ファイバコアの中心から約10ミクロン離れた所に $\Delta n = 0.5\%$ のリングが加えられる。類似の反復ステップがコンピュータシミュレーションプログラムに組み込まれる。このプログラムは、最終的には、図6に示す設計に収束する。図4は、結果としての波長 $\lambda$ 対周期 $\Lambda$ の曲線を示すが、この曲線は波長約1.55 $\mu\text{m}$ の所に変曲点を持つ。

【0027】上述の実施例は、本発明の原理の多数の用途のたった数例を示すものであり、当業者においては、多数の様々な他の構成を本発明の精神および範囲から逸脱することなく容易に考案できるものと理解される。

【図面の簡単な説明】

【図1】長周期格子の略断面図である。

【図2】従来の長周期格子の中心波長と周期の関係を示すプロット図である。

【図3】従来の長周期格子の典型的な伝送スペクトルを示す図である。

【図4】本発明による典型的な長周期格子の中心波長と周期の関係を示すプロット図である。

【図5】本発明による典型的な長周期格子の伝送スペク

トルを示す図である。

【図6】本発明による一例としての長周期格子の屈折率プロファイルを示す図である。

【図7】広帯域長周期格子を分散補償要素として用いる光通信システムを示す図である。

【図8】光増幅器リピータを用いる光通信システムを示す図である。

【図9】図8のシステム内に用いるのに適する好ましい光増幅器を示す図である。

【符号の説明】

10 光ファイバ

11 コア

12 クラッド

13 長周期格子

14 屈折率擾動

69 送信機

70 シングルモード伝送ファイバ

71 モード変換格子

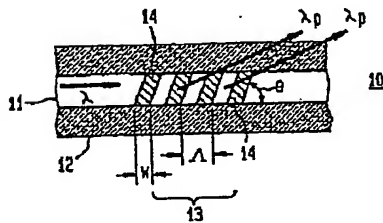
72 分散補償ファイバ (DCF)

73 モード結合 (変換) 格子

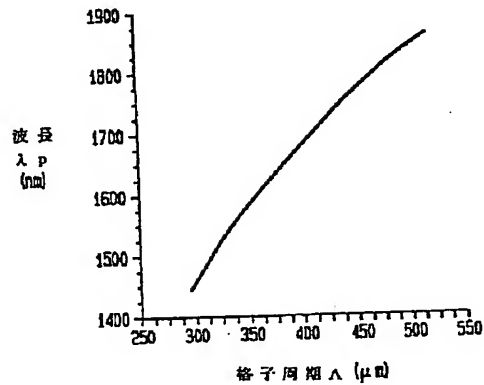
74 シングルモードファイバ

75 受信機

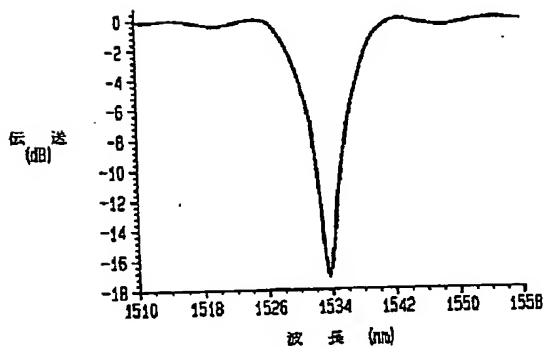
【図1】



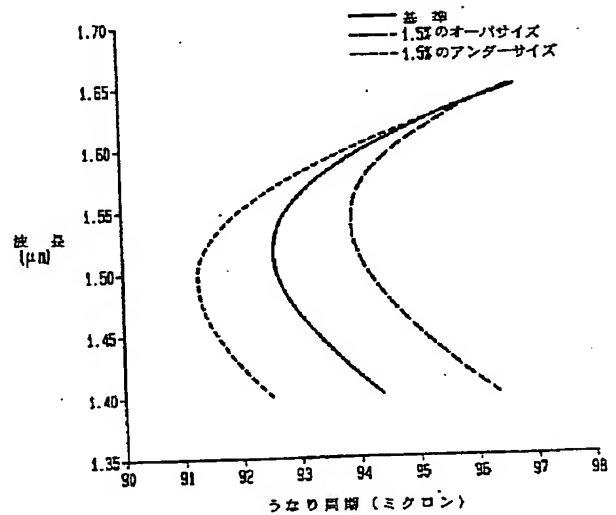
【図2】



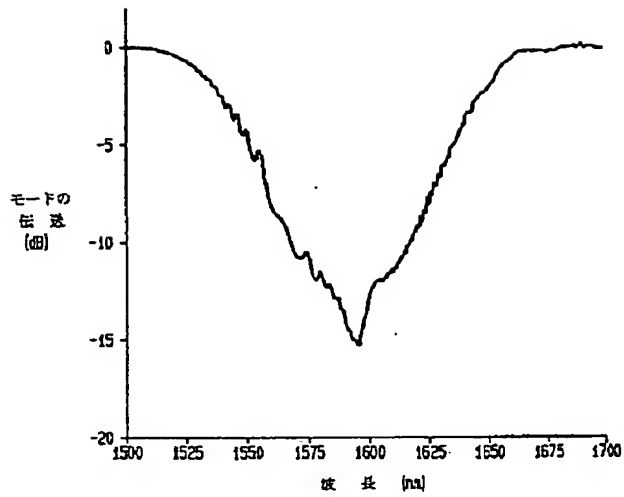
【図3】



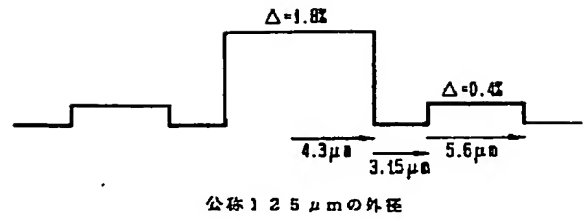
【図4】



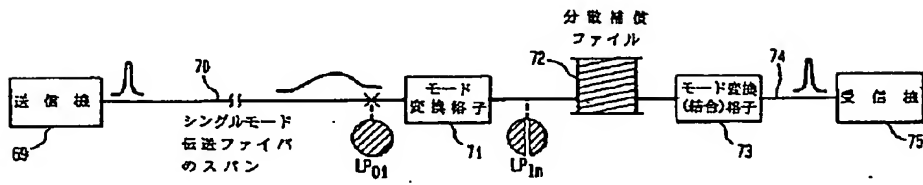
【図5】



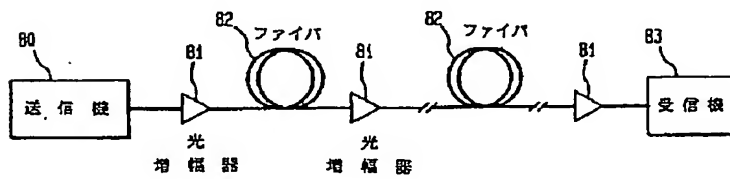
【図6】



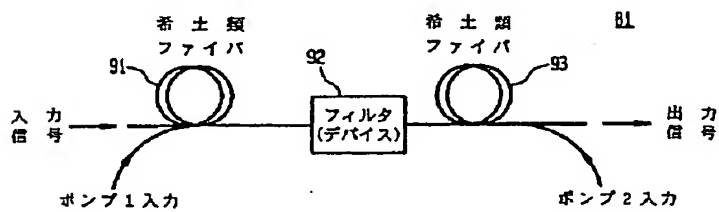
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 アシシュ マドフカー ヴェングサーカ  
ー  
アメリカ合衆国 07922 ニュージャージー  
ィ, パークレイ ハイツ, ダリア レーン  
10

(72)発明者 ジェファーソン リン ワグナー  
アメリカ合衆国 22901 ヴァージニア,  
シャーロットツヴィル, グレード レーン  
341